مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۲، شماره ۳، سال ۱۳۹۵

ارزیابی اجزاء مقاومت نسبی درتعدادی از لاین‌های امیدبخش گندم اقلیم سرد نسبت به بیماری زنگ زرد در شرایط مزرعه‌ای در اردبیل

Evaluation of Partial Resistance Components in some Promising Wheat Lines of Cold Climate Zone to Yellow Rust Disease in Field Condition in Ardebil, Iran

طاهره دولت‌خواه اجیرلو[۱]، محمدترابی[۲] و صفرعلی صفوی[۳]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین پیشوا، دانشکده کشاورزی ، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، ورامین
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل ، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۱

چکیده

دولت خواه اجیرلو، ط.، ترابی، م. و صفوی، ص. ع. ۱۳۹۵. ارزیابی اجزاء مقاومت نسبی درتعدادی از لاین‌های امیدبخش گندم اقلیم سرد نسبت به بیماری زنگ زرد در شرایط مزرعه‌ای در اردبیل. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۲:** ۳۶۷- ۳۴۷.

در این پژوهش ۲۱ لاین امیدبخش گندم اقلیم سرد همراه با دو رقم شاهد حساس بولانی و موروکو به منظور تعیین مقاومت نسبی آن‌ها نسبت به بیماری زنگ زرد در مزرعه تحقیقاتی اردبیل ارزیابی شدند. در این مطالعه اجزائ مختلف مقاومت نسبی شامل ضریب آلودگی، شدت نهائی بیماری، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و نرخ آلودگی ظاهری در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل در شرایط مزرعه ارزیابی شدند. بعد از شاهد حساس، لاین‌های C-91-9 و C-91-20 بیشترین مقدار ضریب آلودگی، شدت نهائی بیماری، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری ، نرخ آلودگی ظاهری، تراکم جوش و اندازه جوش را داشتند. لاین‌های C-91-1، C-91-7، C-91-8، C-91-15 و C-91-18 در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم، مصون یا آلودگی پایینی داشتند. لاین‌های C-91-12 و C91-21 که در مرحله گیاهچه‌ای حساس اما در مرحله گیاه کامل مقاوم بودند و مقادیر پایین آلودگی را نشان دادند، به عنوان لاین‌های دارای مقاومت تدریجی ارزیابی شدند. لاین‌های C-91-13 و C-91-14 در مرحله گیاهچه‌ای نیمه مقاوم و در مرحله گیاه کامل مقاومت کامل یا سطح مطلوبی از مقاومت نسبی را نشان دادند ولی لاین‌های C-91-3، C-91-4، C-91-1 و C-91-17 مقاومت نسبی(تدریجی) متوسطی داشتند و لاین‌های C-91-2، C-91-5، C-91-9، C-91-10، C-91-11، C-91-6، C-91-20 و C-91-19 حساس بودند. رابطه مثبت و معنی‌داری بین شدت نهایی آلودگی با مقادیر ضریب آلودگی و همچنین بین rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری مشاهده شد. بیشترین ضریب همبستگی (r) بین شدت نهایی آلودگی با ضریب آلودگی به دست آمد (r = 0.99).

واژه‌های کلیدی: گندم، زنگ زرد، مقاومت نسبی، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل.

نویسنده مسئول: m_torabi28@yahoo.com تلفن: ۰۹۱۲۳۰۵۳۷۲۳

مقدمه

زنـــگ زرد بـــا نـــام علمـــی *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* شایع‌ترین بیماری گندم است و نسبت به سایر زنگ‌ها نیاز بـه دمـای پـایین‌تـری جهـت رشـد و نمـو دارد (Roelfs *et al*., 1992). عامل بیماری به گـروه قارچ‌های بیـوتروف [1] تعلق دارد. اهمیت زنـگ زرد ناشی از توانایی بیمارگر در جهـش ژنتیکـی و تولید نژاد جدیـد و مکانیسـم مهـاجرت آسـان آن در مسافت‌های طولانی به‌دلیل هـوازاد بـودن اسـت (Singh *et al*., 2005). از نظـر تـاریخی، اپیدمی‌هـای زنـگ زرد گنـدم اساساً در منـاطق معتـدل بـا تابسـتان‌هـای مرطـوب و خنـک یـا در ارتفاعـات نـواحی گـرم بـا شـب‌هـای خنـک اتفـاق مـی افتـد (Stubbs, 1985؛ Zadoks and Vandenbosch, 1994). ایـن بیماری اولین بار در اروپا در سال ۱۷۷۷ میلادی شـرح داده شـده وازآن هنگـام تـاکنون ازبـیش از ۶۰ کشـور و در همـه اقلیم‌هـا بـه جـزء قطـب جنـوب گـزارش شـده اسـت (Wiese, 1987). زنـــگ زرد اولـــین بـــار در ایـــران توســـط اســـفندیاری در ســـال ۱۳۲۶ گـــزارش شـــد (Esfandiari, 1947). بنـا بـه گـزارش نیمـان و همکـاران (Nieman *et al*., 1967) میـزان خسارت ناشی از این بیماری در ایران ۴/۵درصد کل محصول برآورده شده است. علی‌رغم مـؤثر بودن سموم قارچ کـش در کنتـرل زنـگ‌هـا، بـه دلیل آلایندگی محـیط زیسـت مبـارزه شـیمیایی ابـزار مناسـبی نبـوده و توصـیه نمـی‌شـود (Chen, 2005). راهبرد اسـتفاده از ارقـام مقـاوم (مقاومت توارث‌پذیر) در جهت مدیریت کنترل زنـگ‌هـا مطمـئن‌تـرین و بـا صـرفه‌تـرین روش جلـوگیری از خسـارت زنـگ‌هـا اسـت (Line and Chen, 2007).

دو نـــوع مقاومـــت در رابطـــه بـــا عامـــل زنـــگ زرد و میزبـــان گـــزارش شـــده اســـت، مقاومـــت کیفـــی و مقاومـــت کمـــی (Sandoval- Islas *et al*., 1998). به طور کلی مقاومتی که مدت زمان زیادی دوام آورده باشد بـه آن مقاومـت پایـدار (Johnson, 1988) نیـز گفته مـی‌شـود کـه اغلـب از نـوع کمـی اسـت، درصـورتی کـه مقاومـت کیفـی مـدت زمـان کوتاهی مؤثر واقع می‌شود. بـه عـلاوه مقاومـت کیفـی غالبـاً بـه‌دلیـل تغییـر سـریع نژادهـای بیماری‌زای بیمارگر مقاومت آن شکسته می‌شود (Chen and Line, 1993). از انـواع مقاومـت کمی می‌توان به مقاومت گیـاه کامـل، مقاومـت تـدریجی (یـا مقاومـت نسـبی) و مقاومـت گیـاه کامل در دمـای بـالا اشـاره کـرد. در ارقـامی بـا مقاومت تدریجی، دوره کمون طولانی‌تـر، تیـپ آلودگی کمتر، مقدار اسپور تولیـدی پـایین‌تـر و انـدازه جـوش‌هـای تولیـد شـده روی گیـاه کوچک‌تر هستند (Tsomin *et al*., 1990). این پارامترها برای ارزیابی مقاومت تدریجی در نظر گرفته می‌شوند. محققین مختلفی نیز با استفاده از ایـــن پارامترهـــا مقـــادیر کمـــی مقاومـــت ارقـام و لایـن‌هـا را در سـطح مزرعـه مشـخص کـردهانـد (Safavi and Afshari, 2012؛

؛Ali *et al.*, 2009b ؛Shah *et al.*, 2010 .(Sandoval-Islas *et al.*, 2007

ترابی و نظری (Torabi and Nazari, 1998) درارزیابی واکنش ۲۵رقم و لاین پیشرفته گندم در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نشان دادند که تعدادی از ژنوتیپ‌ها دارای مقاومت گیاهچه‌ای و تعدادی دارای مقاومت گیاه کامل بودند. ارزیابی مقاومت تعدادی از ارقام و لاین‌های پیشرفته گندم در ایران نشان داد که تعدادی از لاین‌ها که در مرحله گیاهچه‌ای حساس بودند در مرحلهٔ گیاه کامل از خود مقاومت نشان دادند، این به دلیل وجود ژن‌های مقاومت گیاه کامل بود (Nazari *et al.*, 2000). ارزیابی ۱۳۵ لاین پیشرفته گندم از نظر زنگ‌زدگی تدریجی، در طول فصل کشت ۲۰۰۹–۲۰۰۸ در شرایط طبیعی درسطح مزرعه انجام شد. در این ارزیابی ۲۵ لاین گندم دارای مقاومت پایدار بالقوه با فراوانی شدت بیماری (٪۳۰-۱۰) و مقادیر نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری پایین‌تر (٪۶۶-۲) شناسایی شدند (Tabassum, 2011). در تحقیق دیگری مقاومت کمی ۲۹ لاین امیدبخش گندم اقلیم سرد با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در شرایط آلودگی مصنوعی و طبیعی در اردبیل بررسی و مشخص شدکه لاین‌های C-86-1، C-86-2، C-87-1 و C-87-3 همراه بارقم شاهد حساس بیشترین مقدار FRS و CI را داشتند. لاین‌های C-86-3، C-86-9، C-87-2، C-87-6، C-87-8، C-87-11 و C-87-18 در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل مقادیر پایین آلودگی نشان دادند و به عنوان لاین‌های دارای مقاومت تدریجی انتخاب شدند (Safavi and Afshari, 2012). با توجه به این که در برنامه به‌نژادی گندم درایران، یکی از اهداف شناسایی و معرفی ارقام مقاوم به زنگ‌ها به خصوص زنگ زرد است، در این بررسی تعدادی از لاین‌ها امیدبخش گندم به‌منظور تعیین مقاومت نسبی آن ها به زنگ زرد در شرایط مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به‌اهداف این تحقیق، دوآزمایش جداگانه به منظور ارزیابی لاین‌ها درمرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل انجام شد.

ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای

این بررسی درسال زراعی۹۳-۱۳۹۲درمزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل (واقع در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل- خلخال با طول جغرافیای ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۹متر) به‌منظور ارزیابی مقاومت ۲۱ لاین‌امیدبخش اقلیم سرد به همراه دو شاهد رقم حساس (بولانی و مورو کو) به‌اجرا درآمد.

تمام لاین‌ها و ارقام شاهد در اوایل بهار پس‌از برطرف شدن سرما کاشته شدند موقعی

که گیاهچه‌ها دو تا سه برگی شدند به وسیله اسپورهای نژادهای محلی زنگ زرد مایه‌زنی شدند. قبل از مایه‌زنی، ابتدا گیاهچه‌ها با استفاده از محلول روغن توین ۲۰ (Tween-20) و آب به‌نسبت یک در هزار محلول‌پاشی شدند تا سطح برگ‌ها مرطوب و برای جوانه‌زنی اسپور زنگ زرد آماده شود. اسپورپاشی با استفاده از مخلوط پودر تالک و اسپور به نسبت ۴ به ۱ به صورت پودرپاشی و به طور یکنواخت انجام شد. یادداشت‌برداری در زمان ظهور حداکثر علایم (حدود ۱۷ روز بعد از مایه‌زنی) روی رقم حساس (در حد تیپ آلودگی ۷ یا بالاتر) انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای بر اساس معیار ۹-۰ به روش لاین و قیوم (Line and Qayoum, 1992) انجام شد. در این روش تیپ‌های آلودگی ۷ یا بیشتر به عنوان حساس، تیپ‌های آلودگی ۶-۴ متوسط و تیپ‌های آلودگی کمتر از ۴ به عنوان مقاوم در نظر گرفته شدند. قبل ازخشک شدن برگ‌ها (برگ‌های دو و سوم) از هر لاین ۲۰-۱۰ برگ به طور تصادفی جمع‌آوری و تراکم جوش و اندازه جوش‌ها زیر میکروسکوپ اندازه‌گیری شد. نتایج این یادداشت برداری‌ها شامل تیپ آلودگی، تراکم‌جوش در واحد سطح (cm^2) و اندازه جوش به (میلی‌مترمربع) بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی محاسبه و تجزیه واریانس انجام و میانگین‌ها با روش دانکن مقایسه شدند. در نهایت اجزای مقاومت برای هر لاین مشخص و لاین‌هائی که دارای تراکم جوش کمتر، اندازه جوش کوچک‌تر و تیپ و شدت آلودگی کمتر بودند به عنوان مقاوم شناسائی شدند (Parlevliet, 1985).

ارزیابی در مرحله گیاه کامل

در فصل پاییز هر لاین به میزان ده گرم بذر روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم‌دیگر روی یک پشته کاشته شد. بعد از هر ده لاین و نیز در کل حاشیه آزمایش‌ها روی دو خط یک متری (یک پشته) رقم حساس بولانی کاشته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. و در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری (یک بار در فصل پاییز و شش بار در فصل بهار با فاصلهٔ هر ده روز یک‌بار)، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام شد.

عملیات مایه‌زنی مصنوعی با مخلوطی از اسپورهای جمعیت نژادهای زنگ زرد که دارای بیماریزایی روی گیاهان حامل ژن‌های *Yr*2، *Yr*6، *Yr*7، *Yr*9، *Yr*22، *Yr*23، *Yr*24، *Yr*25، *Yr*26، *Yr*27، *YrA* و *YrSU* بود در خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی و قبل‌از ظهور برگ پرچم (Gs 36) با مخلوط اسپور زنگ زرد و پودر تالک به کمک دستگاه گردپاش و در هنگام غروب به صورت اسپورپاشی انجام شد. زادمایه مورد نظر برای مایه‌زنی مصنوعی در شرایط مزرعه ازجمعیت اسپور زنگ زرد که از مزارع گندم در منطقه اردبیل در بهار سال ۱۳۹۲ به مقدار زیاد جمع‌آوری و به صورت فریز در

دمای $-80^{\circ}C$ نگهداری شده بود استفاده شد. یک روز قبل از اسپورپاشی اسپورها به مقدار لازم از فریز بیرون آورده شد و در معرض شوک حرارتی به مدت ده دقیقه در دمای $40^{\circ}C$ قرارداده شد سپس اسپورها در دسیکاتور در شرایط مرطوب (تقریباً ۸۰٪ رطوبت) به مدت ۲ تا ۴ ساعت نگهداری شدند. اسپورها پس از این مرحله به حالت طبیعی درآمدند و برای مایه‌زنی آماده شدند.

یادداشت برداری از شدت بیماری زنگ زرد در سه نوبت از زمان ظهور بیماری تا سطح ۴۰ درصد روی رقم حساس براساس مقیاس اصلاح شدهٔ کاب پیشنهادی پیترسون و همکاران (Peterson *et al.*, 1948) انجام شد. همچنین از واکنش گیاه (تیپ آلودگی) بر اساس روش رولفز و همکاران یادداشت برداری انجام شد(Roelfs *et al.*, 1992).

داده‌های مربوط به شدت بیماری و تیپ‌آلودگی میزبان با هم ترکیب شده و از ترکیب آن‌ها ضریب آلودگی (CI) محاسبه شد. ضریب آلودگی با ضرب شدت بیماری در عدد ثابت مربوط به عکس‌العمل میزبان (1 = S، 0.75 = MS، 0.5 = M، 0.25 = MR و 0.1 = R) محاسبه شد (Pathan and Park, 2006).

محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) با فرمول زیر:

$$AUDPC = \{[N_1 (X_1+X_2)/2] + [N_2 (X_2+X_3)/2]\}$$

انجام شد. که در این فرمول AUDPC: سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، N_1: فاصلهٔ اولین یادداشت‌برداری با دومین یادداشت‌برداری به روز، N_2: فاصلهٔ دومین یادداشت‌برداری با سومین یادداشت‌برداری، X1، X2 و X3 به ترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت برداری هستند (Millus and Line, 1986).

محاسبه مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) برای هر لاین، بر اساس مقیاس آن با سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری شاهد حساس انجام شد.

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش واندرپلانک (van der Plank, 1963) براساس فرمول زیر برای هر رقم محاسبه شد:

$$r = 1/t_2-t_1[(\ln(x_2/1-x_2)) - (\ln(x_1/1-x_1))]$$

که در آن t_1 و t_2 زمان‌های یادداشت‌برداری و x_1 و x_2 شدت نهائی آلودگی یادداشت شده در زمان‌های مذکور هستند.

داده‌های به دست آمده از ضریب آلودگی، شدت نهائی آلودگی (Final Infection Severity)، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری (Apparent Infection Rate) با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه آماری و مقایسه میانگین آن‌ها با آزمون دانکن انجام شد. علاوه بر مقایسه میانگین داده‌ها، گروه‌بندی لاین‌ها بر اساس روش علی و همکاران (Ali *et al.*, 2007) و پاتان و پارک (Pathan and Park, 2006) و بر اساس مقادیر

ضـریب آلـودگی، شـدت نهـائی آلـودگی و rAUDPC نیز انجام شد. تجزیه همبستگی بین صفات نیز بین داده‌های مختلف با استفاده از برنامه MS-Excel انجام شد و به کمک نرم افزار SPSS (نسخه ۱۸) گروه‌بندی لاین‌ها با تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward و با در نظر گرفتن حداقل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها انجام شد.

علاوه بر پارامترهای فوق در مرحله گیاه کامل نیز، اجزای دیگر مقاومت یعنی تراکم جوش روی برگ، اندازه جوش و تیپ آلودگی هم یادداشت‌برداری شد. یادداشت‌برداری از تیپ آلودگی به روش مکنیل و همکاران (McNeal *et al.*, 1971) ۱۹-۱۷ روز پس‌ازمایه‌زنی انجام شد. به منظور اندازه‌گیری دو صفت تراکم جوش و اندازه جوش پس از یادداشت‌برداری تیپ آلودگی قسمتی از برگ که نشان‌دهنده تراکم کل سطح برگ بود با قیچی جدا و سپس به قطعات دو سانتی‌متری بریده شدند. قطعات برگی، در داخل شیشه‌های حاوی الکل اتیلیک و اسید استیک به نسبت ۳:۱ و به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا ضمن رنگ‌زدایی جوش‌ها نیز تثبیت شوند. قطعات برگی پس از شستشو با آب مقطر به منظور نگهداری طولانی مدت در شیشه‌ای حاوی محلول لاکتوفنل قرار گرفتند. اندازه‌گیری این دوصفت با استفاده‌از میکروسکوپ چشمی و در درشت‌نمایی 10X انجام شد. برای اندازه‌گیری مساحت جوش‌ها، ابعاد پنج جوش (برای هرنمونه برگ در هرتکرار تعداد ۲۵ جوش به طورکل) با استفاده از نرم‌افزار Tsview اندازه‌گیری و مساحت آن‌ها را از فرمول زیر محاسبه و در نهایت میانگین‌گیری شد:

طول × عرض × $\frac{1}{4}\pi$ = اندازه جوش

که در آن π = ۳/۱۴۴ است. برای شمارش تعداد جوش‌ها در سانتی‌مترمربع سطح برگ، ابتدا تعداد جوش در بیست زمینه دید میکروسکوپ شمارش و سپس تعداد جوش در واحد سطح (cm^2) محاسبه شد. چون اعداد مربوط به تعداد جوش‌ها در واحد سطح برگ از توزیع پویسون پیروی می‌کرد، داده‌های آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

مشخصات و شجره لاین‌های امید بخش گندم مورد ارزیابی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات تیپ آلودگی و تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای تفاوت معنی‌داری بین لاین‌ها در سطح احتمال ۵٪ و برای صفت اندازه جوش در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۲).

مقایسه میانگین تیپ آلودگی و تراکم جوش و اندازه جوش در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که از ۲۱ لاین بررسی شد، لاین‌های C-91-9، C-91-10، C-91-11، C-91-12، C-91-21 و

جدول ۱- شجره لاین‌های امیدبخش گندم برای ارزیابی مقاومت نسبی به زنگ زرد

Table 1. Pedigree of wheat promising lines for evaluation of partial resistance to yellow rust

کد لاین Line code	شجره / والدین Pedigree/Parenets
C-91-1	Oroum
C-91-2	Zareh
C-91-3	Mihan
C-91-4	Zrn/Shiroodi/6/Zrn/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu
C-91-5	Jagger 'sib'/3/Lagos-7//Guimatli 2/17
C-91-6	Solh
C-91-7	Cupra-1/3/Croc1/Ae.squarrosa(224)//2*Opata/4/Pantheon
C-91-8	Fln/Acc//Ana/3/Pew"s"/4/F12.71/Coc//Cno79*2/5/Catbird
C-91-9	Cornelius
C-91-10	MV Laura
C-91-11	C-75-5/6/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac
C-91-12	Zrn/Shiroodi/6/Zarrin/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu
C-91-13	Passarinho//Vee/Nac
C-91-14	Cupra-1/3/Croc1/Ae.squarrosa(224)//2*Opata/4/Pantheon
C-91-15	Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos/5/5/Tam200/Kauz (-0AP-0AP-7AP-0AP-5A-0AP)
C-91-16	Pantheon/Bluegil-2 (-030YE-030YE-2E-0E)
C-91-17	Zander//Attila/3*Bcn (-0SE-0YC-0YE-3YE-0YE-2YE-0YE)
C-91-18	Soissons/M-73-4//Owl 852524-*3H-*0-*H0H
C-91-19	F498U1-1021/Boema
C-91-20	00247G6-106
C-91-21	Owl/Col no.3625//Soissons

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات تیپ آلودگی، اندازه جوش و تراکم جوش زنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاهچه‌ای

Table 2. Variance analysis for infection type, pustule size and pustule density of yellow rust in wheat promising lines at seedling stage

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	MS میانگین مربعات تراکم جوش Pustule density	 اندازه جوش Pustule size	 تیپ آلودگی Infection type
Treatment	تیمارها	22	10.49*	12.05**	14.54*
Replication	تکرار	2	3.12	2.43	2.43
Error	خطا	24	15.14	8.12	11.12
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	12.00	11.00	10.00

**و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

** and * : Significant differences at 1% and 5% probability levels, respectively.

ارقام شاهد حساس (بولانی و موروکو) با تیپ آلودگی ۹-۷ (حداکثر در دو تکرار از سه تکرار)، با داشتن بیشترین تراکم جوش در واحد سطح برگ و با داشتن بزرگ‌ترین اندازه جوش واکنش حساسیت نشان دادند. لاین‌های C-91-2، C-91-5 و C-91-19 از نظر تیپ آلودگی (۶-۴) واکنش نیمه مقاوم نشان دادند اما با توجه به اندازه جوش بزرگ‌تر و تراکم جوش بیشتر در واحد سطح برگ حساس بودند. لاین‌های C-91-6، C-91-13، C-91-17 و C-91-20 با تیپ آلودگی (۶-۴)، اندازه جوش متوسط و تراکم جوش متوسط در واحد سطح

برگ واکنش نیمه مقاوم نشان دادند و بقیه لاین‌ها با تیپ آلودگی (۴-۰)، کوچک‌ترین اندازه جوش در واحد سطح و کم‌ترین تراکم جوش در واحد سطح برگ یا بدون هیچ آلودگی، مقاوم و یا مصون بودند (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات تیپ آلودگی، تراکم جوش و اندازه جوش زنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاهچه‌ای

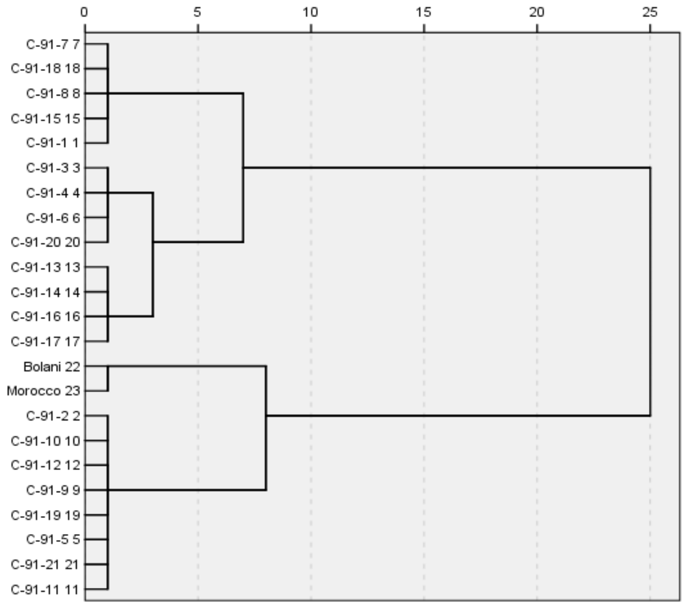
Table 3. Mean comparison of infection type, pustule size and pustule density of yellow rust in promising wheat lines at seedling stage

کد لاین Line code	تراکم جوش Pustule size (cm^2)	اندازه جوش Pustule density/mm^2	تیپ الودگی Infection type
C-91-1	0.00i	0.000i	1.00f
C-91-2	316.37cd	0.061ab	4.66 cd
C-91-3	97.85h	0.019fg	2.00ef
C-91-4	90.15h	0.018fg	2 .00e
C-91-5	355.21bc	0.042de	5.33bc
C-91-6	120.20gh	0.018fg	4.33d
C-91-7	0.00i	0.000i	1.66f
C-91-8	0.00i	0.000i	1.33f
C-91-9	366.77b	0.064ab	6.66ab
C-91-10	324.40cd	0.050cd	7.00a
C-91-11	381.40b	0.044de	6.66ab
C-91-12	302.04d	0.042de	6.66ab
C-91-13	191.09f	0.026f	4.33d
C-91-14	191.09f	0.024f	2.66e
C-91-15	0.00i	0 .000i	1.33f
C-91-16	163.86f	0.013g	3.00e
C-91-17	238.10e	0.036ef	4.33d
C-91-18	0.00i	0.000i	1.66f
C-91-19	369.70b	0.055bc	5.00bc
C-91-20	129.44g	0.020fg	4.33d
C-91-21	359.86bc	0.059b	6.66ab
Bolani	499.30a	0.078a	7.00a
Morocco	517.79a	0.069a	7.66a

در هرستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ در صد اختلاف معنی‌دارای ندارند (آزمون چند دامنه دانکن).

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level (Duncan's multiple range test).

گروه‌بندی لاین‌ها بر اساس کلیه صفات مورد بررسی در مرحله گیاهچه‌ای با روش تجزیه خوشه‌ای انجام شد و لاین‌ها در سه گروه اصلی (و دو گروه فرعی) قرار گرفتند. گروه اول شامل لاین‌های C-91-1، C-91-7، C-91-8، C-91-15 و C-91-18 بودند که با توجه به تمام صفات اندازه‌گیری شده دارای مقاومت کامل بودند. گروه دوم شامل لاین‌های C-91-3، C-91-4، C-91-6، C-91-13، C-91-14، C-91-16، C-91-17، C-91-17 و C-91-20 با توجه به تمام صفات مورد بررسی اکثرا دارای واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس بودند و گروه سوم شامل لاین‌های C-91-2، C-91-5، C-91-9، C-91-10، C-91-11، C-91-12، C-91-19، C-91-21، بولانی و موروکو حساس بودند (شکل ۱). لاین‌هایی که در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم ولی در مرحله گیاه کامل واکنش نیمه‌مقاوم یا نیمه‌حساس نشان



شکل ۱- گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات مرتبط با واکنش گیاهچه‌ای به زنگ زرد به روش Ward

Fig. 1. Classification of wheat promising lines based on all traits related to seedling reactions to yellow rust using Ward's cluster analysis method

می‌دهند احتمالاً به دلیل تغییرات جمعیت بیمارگر در آخر فصل (یعنی زیاد شدن جمعیت نژاد آلوده کننده در مرحله گیاه کامل است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اجزای مقاومت (rAUDPC، ضریب آلودگی، نرخ آلودگی ظاهری، شدت نهایی آلودگی و اندازه جوش) در مرحله گیاه کامل نشان داد که در بین لاین‌ها تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و برای تراکم‌جوش در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت (جدول‌های ۴ و ۵).

بر اساس مقایسه میانگین داده‌های rAUDPC، لاین‌ها از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۶) بر اساس روش علی و همکاران (Ali *et al*., 2007) لاین‌هائی که مقدار rAUDPC آن‌ها کمتر از ۳۰ درصد باشد دارای سطح بالای مقاومت تدریجی و لاین‌هائی که مقدار rAUDPC آن‌ها بیش از ۳۰ درصد باشد سطح پایینی از مقاومت تدریجی را دارند. لاین‌های C-91-1، C-91-2، C-91-3، C-91-3، C-91-4، C-91-5، C-91-6، C-91-7، C-91-8، C-91-10، C-91-11، C-91-12، C-91-13، C-91-14، C-91-15، C-91-16، C-91-17، C-91-18، C-91-19 و C-91-21 مقادیر rAUDPC کمتراز ۳۰ درصد داشتند و به عنوان لاین‌های دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند. لاین‌های C-91-9 و C-91-20 مقادیر rAUDPC بیشتراز ۳۰ درصد داشتند و به‌عنوان گروهی دارای سطح متوسط یا پایین‌تر مقامت تدریجی گروه بندی شدند (جدول ۶). مقدار نسبی AUDPC

جدول ۴- تجزیه واریانس ضزیب الودگی، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری زنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاه کامل

Table 4. Variance analysis for apparent infection rate , rAUDPC and coefficient of infection of yellow rust in wheat promising lines at adult plant stage

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS ضریب‌آلودگی Coefficient of infection	سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری rAUDPC	نرخ آلودگی ظاهری Apparent infection rate
Treatments	تیمارها	22	18.24*	12.87*	9.94*
Replication	تکرار	2	2.21	8.10	3.50
Error	خطا	24	10.22	22.12	3.06
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	12.00	10.00	15.00

*: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال۵ درصد.

* : Significant difference at 5 % probablity level.

جدول ۵- تجزیه واریانس تراکم جوش، اندازه جوش و شدت آلودگی نهائی زنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاه کامل

Table 5. Variance analysis for pustute density, pustute size and final infection rate of yellow rust in wheat promising lines at adult plant stage

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS تراکم جوش Pustule density	اندازه جوش Pustule size	شدت نهایی آلودگی Final infection severity
Treatments	تیمارها	22	25.24*	10.29**	12.21*
Replication	تکرار	2	9.18	1.10	3.10
Error	خطا	24	9.12*	0.87	5.23
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	10.00	11.00	10.00

**و*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال۱ درصد و ۵ درصد.

*and** : Significant differences at 1% and 5% probabing levels, respectively.

ارقام شاهد بولانی و موروکو به ترتیب ۱۰۰ و ۹۳/۹۷ درصد بود که به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۶).

روش مقایسه ضریب آلودگی به علت همبستگی با کاهش محصول دراثر آلودگی به زنگ‌های غلات به‌عنوان یکی‌از روش‌های مناسب ارزیابی ذکر شده است (McIntosh *et al.*, 1995) براساس روش علی و همکاران (۲۰۰۷) و پاتان و پارک (۲۰۰۶) ارقام یا لاین‌هایی باضرایب آلودگی ۰ تا ۲۰، ۲۱ تا ۴۰ و ۴۱ تا ۶۰ به ترتیب دارای سطح بالا، متوسط و پایین مقاومت نسبی درنظرگرفته می‌شوند. دراین بررسی لاین‌های C-91-1، C-91-2، C-91-4، C-91-5، C-91-6، C-91-7، C-91-8، C-91-10، C-91-11، C-91-12، C-91-13، C-91-14، C-91-15،

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات تراکم جوش، اندازه جوش، شدت نهائی آلودگی، ضریب آلودگی، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری (r) زنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاه کامل

Table 6. Mean comparison for pustle density, pustle size, final infection severity, coefficient of infection, rAUDPC and apparent infection rate of yellow rust in wheat promising lines at adult plant stage

کد لاین Line code	تراکم جوش Pustule density/cm^2	اندازه جوش Pustule size (mm^2)	شدت آلودگی Final infection severity	ضریب الودگی Coefficient of infection	مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری rAUDPC	نرخ آلودگی ظاهری Apparent infection rate
C-91-1	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
C-91-2	312.006c	0.040abc	16.60c	4.16de	24.02cd	0.050bc
C-91-3	115.58fg	0.013de	7.00d	2.50e	10.80ef	0.040bc
C-91-4	119.43f	0.014d	16.60c	4.16de	24.72cd	0.063b
C-91-5	283.55d	0.023cd	16.60c	6.60cd	27.52c	0.065b
C-91-6	245.00e	0.030bc	7.00d	1.73e	10.40ef	0.040bc
C-91-7	124.05f	0.015d	7.30d	1.73e	11.11e	0.021c
C-91-8	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
C-91-9	331.33c	0.053a	36.60b	27.50b	52.26b	0.075b
C-91-10	378.08b	0.042ab	20.00bc	5.00d	29.85c	0.057bc
C-91-11	282.8d	0.040bc	4.00de	5.41d	17.77de	0.055bc
C-91-12	0.00i	0.000f	4.00de	0.90fg	6.00f	0.020c
C-91-13	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
C-91-14	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
C-91-15	86.63hg	0.016d	7.00d	1.70ef	10.40ef	0.040bc
C-91-16	100.16g	0.010e	4.00de	0.90g	6.00f	0.020c
C-91-17	129.45f	0.014d	4.00de	0.90g	6.34f	0.020c
C-91-18	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
C-91-19	254.27e	0.036bc	20.00bc	11.60c	21.03cd	0.062b
C-91-20	379.00b	0.041ab	40.00b	35.00d	49.25b	0.072b
C-91-21	0.00i	0.000f	1.00e	0.10g	1.89g	0.000d
Bolani	418.40a	0.066a	100.00a	100.00a	100.00a	0.430a
Morocco	442.30a	0.063a	100.00a	100.00a	93.78a	0.430a

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ در صد اختلاف معنی داری ندارند(آزمون چند دامنه دانکن).

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level(Duncan's multiple range test).

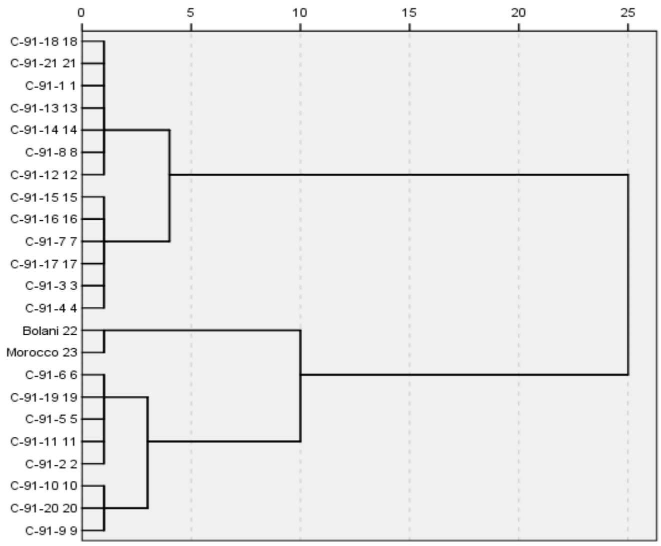
C-91-16، C-91-17، C-91-18 و C-91-21 دارای سطح بالایی مقاومت تدریجی و لاین‌های C-91-9 و C-91-20 دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی بودند و هیچ یک از لاین‌ها سطح پایین مقاومت تدریجی نداشتند. بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین لاین‌ها برای شاهدهای حساس بولانی و موروکو بود با ضریب آلودگی ۱۰۰٪. براساس داده‌های شدت نهایی آلودگی و مطابق روش علی و همکاران (۲۰۰۹)، لاین‌های بررسی شده در این مطالعه در سه گروه دارای مقاومت تدریجی بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند که به ترتیب مقادیر شدت نهائی آلودگی درآن‌ها ۳۰-۱ درصد، ۵۰-۳۱ درصد و ۷۰-۵۱ درصد بود. لاین‌های C-91-1، C-91-2، C-91-3، C-91-4، C-91-5، C-91-6، C-91-7، C-91-8، C-91-10، C-91-11، C-91-12، C-91-13، C-91-14، C-91-15، C-91-16، C-91-17، C-91-18، C-91-19 و C-91-21 دارای مقاومت تدریجی بالا، لاین‌های C-91-9 و C-91-20 دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی بودند، ولی هیچ لاینی مقاومت تدریجی پایین نداشت. بروئرز

وهمکاران (Broers *et al*., 1996) و علی و همکاران (Ali *et al*., 2009) نیز برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌ها از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت کمی استفاده کردند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها بر اساس شدت نهائی آلودگی و پارامترهای دیگر از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بود.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اندازه جوش و تراکم جوش در واحد سطح برگ در مرحله گیاه کامل نشان داد که لاین‌های C-91-2، C-91-5، C-91-10، C-91-11 و C-91-20 شاهدهای حساس بولانی و موروکو با داشتن بزرگ‌ترین اندازه جوش و بیشترین تراکم جوش در واحد سطح برگ حساس، لاین‌های C-91-3، C-91-4، C-91-6، C-91-7، C-91-16، C-91-17 و C-91-19 با داشتن اندازه متوسطی از جوش و تعداد متوسطی از جوش در واحد سطح برگ دارای سطح متوسطی از مقاومت تدریجی بودند و بقیه لاین‌ها باداشتن کوچک‌ترین اندازه جوش و کمترین تعداد جوش در واحد سطح برگ و یا بدون هیچ جوشی دارای مقاومت گیاه کامل و یا سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی بودند (جدول ۶). مقاومت تدریجی از طریق کاهش تراکم و اندازه جوش و افزایش دوره نهفتگی ، نرخ توسعه اپیدمی را کاهش می‌دهد (Parlevliet, 1979, 1985).

گروه‌بندی لاین‌های گندم بر اساس تجزیه خوشه‌ای برای تمام صفات گیاه کامل لاین‌ها را در چهار گروه اصلی قرار داد. گروه اول شامل لاین‌های C-91-1، C-91-1، C-91-8، C-91-12، C-91-13، C-91-14، C-91-18 و C-91-21 بود که دارای مقاومت کامل و یا سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی بود گروه دوم شامل لاین‌های C-91-3، C-91-4، C-91-7، C-91-15، C-91-16 و C-91-17 بودند که دارای سطح متوسطی از مقاومت تدریجی بودند. گروه سوم شامل ارقام شاهد حساس بولانی و موروکو بودند و گروه چهارم شامل لاین‌های C-91-2، C-91-5، C-91-6، C-91-9، C-91-11، C-91-19 و و C-91-20 بودند. این لاین‌ها دارای سطح پایینی از مقاومت تدریجی و یا حساس بودند (شکل ۲).

از آن جائی که گروه‌بندی ارقام براساس تک تک میانگین داده‌های مقاومت تدریجی نتایج متفاوتی بین لاین‌های مورد بررسی نشان داد، لذا گروه‌بندی لاین‌ها براساس کلیه صفات مورد بررسی هم درمرحله گیاهچه‌ای و هم گیاه کامل با روش تجزیه خوشه‌ای انجام شد. دراین گروه‌بندی شش گروه اصلی مشخص شد. گروه اول شامل لاین‌های C-91-1، C-91-7، C-91-8، C-91-15 و C-91-18 بود که هم در مرحله گیاهچه‌ای و هم در مرحله گیاه کامل واکنش مقاومت نشان دادند. لاین‌های این گروه احتمالاً دارای ژن‌های مقاومت اختصاص نژادی یا ژن‌های مقاومت تمام مرحله‌ای هستند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است ژن‌های مقاومت غیر اختصاص نژادی نیز داشته باشند، اما به‌وسیله

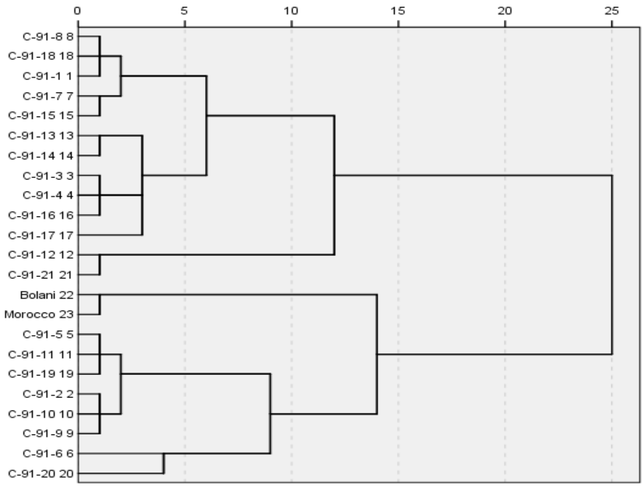


شکل ۲- گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات مرتبط با واکنش گیاه کامل به زنگ زرد به روش Ward

Fig. 2. Classification of wheat promising lines based on all traits related to adult plant reactions to yellow rust using Ward's cluster analysis method

ژن‌های مقاومت موثر اختصاص نژادی پوشیده می‌مانند. گروه دوم شامل سه زیر گروه بود، زیر گروه اول شامل لاین‌های C-91-13 و C-91-14 بود. لاین‌هائی که درمرحله گیاهچه‌ای نیمه مقاوم ولی درمرحله گیاه کامل مقاومت کامل یا سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی را داشتند زیر گروه دوم و سوم شامل لاین‌های C-91-3، C-91-4، C-91-16 و C-91-17 هم درمرحله گیاهچه‌ای و هم درمرحله گیاه کامل دارای واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس بودند. گروه سوم شامل لاین‌های C-91-12 و C-91-21 درمرحله گیاهچه‌ای حساس و اما درمرحله گیاه کامل مقاومت کامل یا سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی را نشان دادند، گروه چهارم شامل ارقام شاهد حساس بولانی و مروکو بود. گروه پنجم شامل لاین‌های C-91-2، C-91-5، C-91-9، C-91-10، C-91-11 و C-91-19 بود که درمرحله گیاهچه‌ای حساس و درمرحله گیاه کامل دارای سطح پایینی‌از مقاومت تدریجی و یا حساس بودند و گروه ششم شامل لاین‌های C-91-6 و C-91-20 درمرحله گیاهچه‌ای واکنش نیمه مقاوم ولی درمرحله گیاه کامل حساس بودند (شکل ۳). نتایج این پژوهش با یافته‌های صفوی وافشاری (Safavi and Afshari, 2012) مطابقت داشت.

براساس جدول ۱ در شجره لاین‌های C-91-11 و C-91-13 رقم Nacozari وجود دارد. رقم مذکور به‌دلیل دارا بودن ژن‌های مقاومت *Yr*18 و *Lr*34 که به ترتیب مسئول مقاومت تدریجی نسبت به زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای هستند (Singh *et al*., 2005) و نیز ژن



شکل ۳- گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات مرتبط با واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل به زنگ زرد به روش Ward

Fig. 3. Classification of wheat promising lines based all traits related to seedling and adult plant reactions to yellow rust using Ward's cluster analysis method

Bdv$_1$ که نسبت به ویروس کوتولگی زرد جو مقاوم است (Singh *et al*., 1993)، دارای اهمیت است، بنابراین لاین‌های دارنده رقم مذکور بایستی مورد توجه باشند زیرا ژن‌های یاد شده با یک‌دیگر و با نکروز نوک برگ نیز پیوستگی دارند (Singh *et al*., 1993). لاین‌های C-91-4، C-91-12 و C-91-17 به‌علت دارا بودن رقم شیرودی در شجره خود دارای ژن‌های مقاومت تدریجی یا گیاه کامل هستند. که دارای سه ژن مقاومت نسبت به زنگ زرد است (Singh *et al*., 2005).

بالاترین ضرایب همبستگی بین تراکم جوش و اندازه جوش در مرحله گیاه کامل به ترتیب با ۸۲ و ۸۸ درصد و پایین‌ترین ضرایب همبستگی بین ضریب آلودگی و تراکم جوش با اندازه جوش در مرحله گیاه کامل به ترتیب برابر ۷۵ و ۸۲ درصد مشاهده شد (جدول ۷). rAUDPC با تیپ آلودگی، تراکم جوش و اندازه جوش (در مرحله گیاهچه‌ای) ضریب همبستگی پایینی داشت که به ترتیب برابر ۶۴، ۵۸ و ۶۵ درصد بود (جدول ۷). rAUDPC نیز با صفات اندازه‌گیری شده در مرحله گیاهچه‌ای همبستگی پایینی داشت از آن‌جا که عمل ژن‌های گیاهچه‌ای در تمام مراحل رشد گیاه و ژن‌های مقاومت گیاه کامل در مرحله گیاه کامل بیان می‌شود، ممکن است لاینی در مرحله گیاهچه‌ای حساس اما در مرحله گیاه کامل دارای سطح بالایی از مقاومت تدریجی باشد، درنتیجه همبستگی بین rAUDPC با اجزای مقاومت مرحله گیاهچه‌ای پایین خواهد بود. تیپ آلودگی با تراکم جوش همبستگی بالای در مرحله گیاهچه‌ای داشت (r = 0.97).

جدول ۷- ضرایب همبستگی خطی بین اجزاء مختلف مقاومت نسبی به رنگ زرد در لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای

Table 7. Linear correlation coefficients between partial resistance components of yellow rust in wheat promising line at seedling and adult plant

Resistance components	اجزاءمقاومت	نرخ آلودگی ظاهری Apparent infectum rate	شدت نهایی آلودگی Final infection severity	ضریب آلودگی Coefficient of infection	تراکم جوش در مرحله گیاه کامل Pustule density in adult plant	اندازه جوش در مرحله گیاه کامل Pustule size in adult plant	تیپ آلودگی در مرحله گیاهچه‌ای Infection type in seedling	تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pustule density in seedling	اندازه جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pustule size in seedling
Final infection severity	شدت نهایی آلودگی	0.97**							
Coefficient of infection	ضریب آلودگی	0.97**	0.99**						
Pustule density in adult plant	تراکم جوش در مرحله گیاه کامل	0.67**	0.75**	0.67**					
Pustule size in adult plant	اندازه جوش در مرحله گیاه کامل	0.76**	0.82**	0.76**	0.97**				
Infection type in seedling	تیپ آلودگی در مرحله گیاهچه‌ای	0.63**	0.54**	0.51*	0.63**	0.64**			
Pustule density in seedling	تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای	0.62**	0.61**	0.59**	0.64**	0.67**	0.93**		
Pustule size in seedling	اندازه جوش در مرحله گیاهچه‌ای	0.60**	0.62**	0.58**	0.64**	0.69**	0.90**	0.97**	
rAUDPC	rAUDPC	0.93**	0.98**	0.95**	0.82**	0.88**	0.58**	0.64**	0.65**

**و * : به ترتیب به معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

* and** : Significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

درایـن مطالعـه اجـزای مختلـف مقاومـت تدریجی شامل ضـریب آلـودگی، شـدت نهـائی بیماری، مقدار نسبی سـطح زیرمنحنـی پیشـرفت بیماری و نرخ آلودگی ظاهری درشرایط مزرعه اندازه‌گیری شدند و همراه با این اجـزای انـدازه جـوش و تـراکم جـوش در هـر دو مرحلـه گیاهچه‌ای و گیاه کامل در واحد سطح برگ نیز اندازه‌گیری شدند. سـطح زیـر منحنـی پیشـرفت بیماری معیار کمی از کل مقاومت بـوده و تمـام مولفـه‌هـای مقاومـت نظیـر فراوانـی آلـودگی، دوره نهـــان آلـــودگی، انـــدازه جـــوش و اسپورزائی را در یک سـطح مشـخص مـی‌سـازد (Milus and Line, 1986). از آن‌جـا کـه بیـان ژن‌های مقاومـت غیراختصـاص- نـژادی (ماننـد مقاومت تدریجی) در مرحله گیـاه کامـل انجـام می‌شود (Singh *et al*., 2011)، لذا برای مطالعه اجـزای مقاومـت تـدریجی گیـاه کامـل در نظـر گرفته شد. محققین مختلفی نیز با استفاده از ایـن صـــفت مقـــادیر کمـــی مقاومـــت ارقـــام و لایـن‌هـا را درسـطح مزرعـه مشـخص کـرده‌انـد (Safavi and Afshari, 2012؛ Sandoval-Islas *et al*., 2007؛ Shah *et al*., 2010). ایـن موضـوع بـه طـور گسترده پذیرفته شـده اسـت مقاومـت‌هـایی کـه دارای تغییرات کمی بوده و منتهـی بـه مقاومـت تـدریجی (Slow rusting) مـی‌شـوند، از نـوع غیراختصاصی نـژادی هسـتند. علـی و همکـاران (۲۰۰۷)مقاومـت تـدریجی را از طریـق ارزیـابی AUDPC، نـرخ آلـودگی و شـدت آلـودگی نهایی مورد مطالعه قرار دادند. مقاومت تدریجی سبب کاهش AUDPC، نرخ آلودگی و شـدت آلـودگی نهـایی مـی‌شـود (Ali *et al*., 2007؛ Broers *et al*., 1996).

لایـن‌هـایی کـه آلـودگی بـالایی (ضـریب آلودگی بیشتراز ۲۰)دارند برای انتخاب به‌عنـوان منبـع مقاومـت و معرفـی توصـیه نمـی‌شـوند (Nazari *et al*., 2000؛ Ali *et al*., 2009). روش مقایسه ضریب آلودگی به‌علت همبستگی بـا کـاهش محصـول دراثـر آلـودگی بـه زنـگ‌هـای غـلات بـه‌عنـوان یکـی از روش‌هـای مناسـب ارزیـابی ذکـر شـده اسـت (McIntosh *et al*., 1995) ایـن امـر بـه‌طـور گسترده پذیرفته شـده اسـت مقاومـت‌هـایی کـه دارای تغییرات کمی بـوده و منتهـی بـه‌مقاومـت تـدریجی (Slow rusting) مـی‌شـوند، ازنـوع غیراختصاصی نـژادی هسـتند. علـی و همکـاران (۲۰۰۷) مقاومت تـدریجی را از طریـق ارزیـابی AUDPC، نرخ‌آلودگی و شدت‌آلودگی نهـایی موردمطالعه قرار دادند. مقاومت تـدریجی سـبب کـاهش AUDPC، نـرخ آلـودگی و شـدت آلـودگی نهـایی مـی‌شـود (Ali *et al*., 2007؛ Broers *et al*., 1996). سـندوال- ایسـلاس و همکاران (Sandoval-Islans *et al*., 1998) نیز ارتبـاط قـوی بـین سـطح زیـر منحنـی پیشـرفت بیماری و اجزای مقاومت کمی گزارش کردند.

در لاین‌هایی که آلودگی متوسط(با واکنش MR، MS و M) دارنـد احتمـال ایـن کـه دارای ژن‌های کوچک‌اثر بـوده و بـه صـورت افزایشـی

عمل کنند بالا است (Singh *et al*., 2005؛ El-Naimi *et al*., 2001؛ Nazari *et al*., 2000). در این لاین‌ها احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت تدریجی و ژن‌های مقاومت گیاه کامل زیاد است. از آن‌جا که این نوع مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی دوام می‌آورند (Dehghani and Moghaddam, 2004؛ Schultz and Line, 1992). بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه قرار گیرند. همان‌طوری که در مورد لاین‌های کاملا مقاوم نیز اشاره شد برای اثبات وجود ژن‌های مقاومت تدریجی آزمایش‌های تجزیه ژنتیکی دقیق و یا استفاده از مارکرهای مولکولی ضروری است. باتوجه به توان بالای عامل بیماری در ایجاد نژادهای جدید به‌دلیل مهاجرت آسان در مسافت‌های طولانی، انتشاروسیع، موتاسیون و فشار انتخابی میزبان روی بیمارگر (Wan and Chen, 2012؛ Ben Yehuda *et al*., 2004؛ Hovmoller, 2001) و احتمالا نقش زرشک به‌عنوان میزبان واسط (Jin, 2011) توصیه می‌شود که در انتخاب لاین‌ها و معرفی آن‌ها بر مقاومت پایدار تاکید شود. برای تولید ارقام مقاوم نسبت به زنگ زرد بهتر است در کنار استفاده از ژن‌های مقاومت موثر در مرحله گیاهچه‌ای از ژن‌های مقاومت غیراختصاص‌نژادی (مقاومت گیاه کامل) نیز استفاده شود. از جمله ژن‌های مقاومت اختصاص نژادی (گیاهچه‌ای) می‌توان به ژن‌های مقاومت *Yr*5 و *Yr*15 اشاره کرد که علاوه بر ایران (Safavi *et al*., 2013)، تقریباً در تمام جهان موثر هستند (Sharma-Poudyal *et al*., 2013) و تا به حال بیماری‌زائی برای این ژن‌ها گزارش نشده است. از ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی نژادی می‌توان به ژن‌های *Yr*18، *Yr*30، *Yr*29، *Yr*36، *YrA1-A8* و *Yrns-B1* اشاره کرد (Chen, 2005). برخی از این ژن‌ها در شجره ارقام و لاین‌های اصلاح شده وجود دارند، اما برای پایداری مقاومت بهتر است چهار تا پنج ژن از این ژن‌ها با یک‌دیگر تجمیع شوند تا مقاومت نزدیک به مصون ایجاد شود (Singh *et al*., 2011). امروزه برای برخی ازاین ژن‌ها از جمله ژن‌های *Yr*18 و *Yr*36 (Chen, 2005؛ Randhawa *et al*., 2012)، *Yr*5، *Yr*15، *Yrns-B1* و *YrA7* (Chen, 2005) نشانگرهای مولکولی نیز شناسایی شده و کار انتخاب را آسان‌تر کرده است.

References

Ali, S., Shah, S. J. A., and Ibrahim, M. 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* West. *tritici*). Pakistan Journal of Biological Science 10: 3440-3444.

Ali, S., Shah, S. J. A., and Rahman, H. 2009. Multi-location variability in Pakistan for partial resistance in wheat to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Phytopathologia Mediterranea 48: 269-278.

Ben Yehuda, P., Eilam, T., Manisterski, J., Shimoni, A., and Akster, Y. 2004. Leaf rust on *Aegilops speltoides* caused by a new forma specialis of *Puccinia triticina*. Phytopathology 94: 94-101.

Broers, L. H. M., Subias, X. C., and Atilano, R. M. L. 1996. Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. Euphytica 90: 9-16.

Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27 : 314-337.

Chen, X. M., and Line, R. F. 1993. Inheritance of stripe rust resistance in wheat cultivars postulated to have resistance genes at *Yr*3 and *Yr*4 loci. Phytopathology 83: 382-388.

Dehghani, H., and Moghaddam, M. 2004. Genetic analysis of latent period of stripe rust in wheat seedlings. Journal of Phytopathology 122: 325-330.

El-Naimi, M., Yahyaoui, A., Ketata, H., Abdalah, O., Nachit, M., and Hakim, S. 2001. Screening for yellow rust resistance in bread and durum wheat. Proceeding of the First Regional Yellow Rust Conference for Central, West Asia and North Africa. May 8-14, Karaj, Iran. pp: 117-121.

Esfandiari, E. 1947. Les rouilles de cereales en Iran (Cereal rust in Iran). Entomologie et Phytopathologie Applique 4: 67-76 (in Persian).

Hovmoller, M. S. 2001. Disease severity and pathothype dynamics of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Denmark. Plant Pathology 50: 181-189.

Jin, Y. 2011. Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis*. Euphytica 179: 105-108.

Johnson, R. 1988. Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implication in plant breeding. pp. 63-75. In: Simmonds, N. W., and Rajaram, S. (eds.) Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat. CIMMYT, Mexico, D. F., Mexico.

Line, R. F., and Chen, X. M. 2007. Genetics and molecular mapping of genes for race-specific all-stage resistance and non-race-specific high-temperature adult-plant

resistance to stripe rust in spring wheat cultivar. Theoretical and Applied Genetics 114: 1277-1287.

Line, R. F., and Qayoum, A. 1992. Virulence, aggressiveness, evolution, and distribution of races of *Puccinia striiformis* (the cause of stripe rust of wheat) in North America, 1968-87. USDA-ARS Technical Bulletin, 1788: Washington D. C., USA. 44pp.

McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. CSIOR, Australia. 200 pp.

McNeal, F. H., Konzak, C. F., Smith, E. P., Tate, W. S., and Russell, T. S. 1971. A uniform system for recordingand processing cereal research data. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service,Washington DC, USA. pp. 34-121.

Milus, E. A., and Line, R. F. 1986. Gene action for inheritance of durable, high-temperature, adult plant resistance to stripe rust in wheat. Phytopathology 76: 435-441.

Nazari, K., Torabi, M., Dehghan, M. A., Aghnom, R., Ahmadian-Moghaddam, M. S., and Fallah, H. 2000. Pathogenicity of *Puccinia striiformis* and reactions of improved cultivars and advanced lines of wheat to yellow rust in northern provinces of Iran. Seed and Plant 16: 393-424 (in Persian).

Nieman, E., Scharif, G., and Bamdadian, A. 1967. Physiologic races of yellow rust in Iran. Entomologie et Phytophthologie Applique 26: 15-31(in Persian).

Parlevliet, J. E. 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. Annual Review of Phytopathology 17: 203-222.

Parlevliet, J. E. 1985. Resistance of the non-race-specific type. pp. 501-525. In Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. (eds.) The Cereal Rusts, Vol. II. Academic Press, New York, USA.

Pathan, A. K., and Park, R. F. 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. Euphytica 149: 327-342.

Peterson, R. F., Campbell, A. B., and Hannah, A. E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research 26: 496-500.

Randhawa, H., Puchalski, B. J., Frick, M., Goyal, A., Despins, T., Graf, R. J., Laroche, A., and Gaudet, D. A. 2012. Stripe rust resistance among western

Canadian spring wheat and triticale varieties. Canadian Journal of Plant Science 92: 713-722.

Roelf, A. P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992. Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management . CIMMYT, Mexico, D. F. Mexico. 81pp.

Safavi, S. A., and Afshari, F. 2012. Quantitative resistance of some elite wheat lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Archives of Phytopathology and Plant Protection 45: 740-749.

Safavi, S. A., Afshari, F., and Yazdansepas, A. 2013. Effective and ineffective resistance genes to wheat yellow rust during six years monitoring in Ardabil. Archives of Phytopathology and Plant Protection 46: 774-780.

Sandoval-Islas, J. S., Broers, L. H. M., Mora-Aguilera, G., Parlevliet, J. E., Osada, K. S., and Vivar, H. E. 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Euphytica 153: 295-308.

Sandoval- Islas, J. S., Broers, L. H. M., Vivar, H., and Osada, K. S. 1998. Evaluation of quantitative resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in the ICARDA/CIMMYT barley-breeding program. Plant Breeding 117: 127-130.

Schultz, T. R., and Line, R. F. 1992. High–temperature, adult plant resistances to wheat stripe rust and effects on yield components. Agronomy Journal 84: 170-175.

Shah, S. J. A., Imtiaz, M., and Hussain, S. 2010. Phenotypic and molecular characterization of wheat for slow rusting resistance against *Puccinia striiformis* Westend. f.sp *tritici*. Journal of Phytopathologhy 158: 393-402.

Sharma-Poudyal, D., Chen, X. M., Wan, A. M., Zhan, G. M., Kang, Z. S., Cao, S. Q., Jin, S. L., Morgounov, A., Akin, B., Mert, Z., Shah, S. J. A., Bux, H., Ashraf, M., Sharma, R. C., Madariaga, R., Puri, K. D., Wellings, C., Xi, K. Q., Wanyera, R., Manninger, K., Ganzález, M. I., Koyda, M., Sanin, S., and Patzek, L. J. 2013. Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 97: 379-386.

Singh, R. P., Burnett, P. A., Albarran, M., and Rajaram, S. 1993. *Bdv1*: A gene for tolerance to *Barley dwarf virus* in bread wheat. Crop Science 33: 231-234.

Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Bhavani, S., Herrera-Foessel, S. A., Singh D., Singh, P. K., Velu, G., Mason, R. E., Jin, Y., Njau, P., and Crossa, J. 2011. Race

non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica 179: 175-186.

Singh, R. P., Huerta-Espino, J., and William, H. M. 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29: 121-127.

Stubbs, R. W. 1985. Stripe rust. pp. 61-101. In: Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. (eds.) The Cereal Rusts, Diseases, Distribution, Epidemiology, and Control. Vol. II. Academic Press, New York, USA.

Tabassum, S . 2011. Evaluation of advanced wheat lines for yellow slow rusting (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*). Journal of Agricultural Science 3: 239-249 (in Persian).

Torabi, M., and Nazari, K. 1998. Seedling and adult plant resistance to yellow rust in Iranian bread wheats. Euphytica 100: 51-54.

Tsomin, Y., Wenhua, S., and Kequan, S. 1990. Monosomic analysis for stripe rust and left rust resistance genes in winter wheat Luqiyu and Yanter. Euphytica 100: 51-54.

Van der plank, J. E. 1963. Plant Diseases. Epidemics and Control. Academic Press, New York, USA.

Wan, A. M, and Chen, X. M. 2012. Virulence, frequency, and distribution of races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* identified in the United States in 2008 and 2009. Plant Disease 96: 67-74.

Wiese, M. V. 1987. Compendium of Wheat Diseases. APS Press, St. Paul, Minnesota, U.S.A., 112pp.

Zadoks, J. C., and Vandenbosch, F. 1994. On the spread of plant-diseases theory on foci. Annual Review of Phytopathology 32: 503-321.